

PENGARUH KECEPATAN ALIRAN UDARA LEMBAB DAN UKURAN BUTIR TERHADAP PENJERAPAN UAP AIR OLEH TUMPUKAN SILIKAGEL

Edia Rahayuningsih*) dan Effendi**)

ABSTRAK

Penelitian ini menggunakan dua model matematis yang dapat digunakan untuk menentukan kecepatan perpindahan massa uap air oleh tumpukan silikagel.

Penelitian dilakukan dengan cara mengalirkan udara lembab selama waktu tertentu melalui tumpukan silikagel yang berada di dalam tabung kaca. Berat silikagel sebelum dan sesudah percobaan ditimbang, sehingga berat air yang terjerap dapat ditentukan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa: Model I dan Model II tidak memberikan beda nyata terhadap ralat relatif rerata antara kadar air dalam butir silikagel fungsi waktu hasil percobaan dan hasil simulasi matematis. Berdasarkan hasil ini dapat dinyatakan bahwa peristiwa penjerapan uap air menggunakan butir silikagel dengan diameter butir 0,19 cm sampai 41 cm langkah kecepatan perpindahan massa antar fasa yang menentukan. Nilai difusivitas efektif (D_e) uap air dalam butir silikagel sebesar $= 7,87 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{detik}$. Pengaruh kecepatan aliran udara lembab terhadap nilai koefisien perpindahan massa dinyatakan dalam bentuk persamaan antar kelompok tidak berdimensi $Sh = 2,55 \cdot 10^{-4} (Re)^{0,8} (d_p/d_t)^{-0,65}$ dengan ralat relatif rerata sebesar 5,75% dan kisaran batas berlakunya persamaan tersebut pada bilangan Reynolds antara 2040 sampai 3350 dan bilangan (d_p/d_t) antara 0,0418 sampai 0,0902.

PENDAHULUAN

Penelitian terhadap segala sesuatu yang berhubungan dengan peristiwa penjerapan udara lembab menggunakan silikagel sudah banyak dilakukan antara lain, penelitian terhadap sifat fisika dan kimianya (Mantell 1951, Perry 1974), pengukuran terhadap nilai parameter-parameter perpindahannya (Rahayuningsih, 1991, Rahayuningsih dkk. 1995).

Silikagel merupakan butir-butir yang berpori, maka permukaan penjerapan sebagian besar berada di permukaan pori-pori. Jadi untuk dapat terjerap, uap air mula-mula harus berpindah dari udara lembab ke permukaan luar butir lalu mendifusi lewat pori-pori butir baru kemudian teradsorpsi. Pada proses adsorpsi biasanya tidak semua langkah di atas diperhitungkan, karena pada keadaan tertentu kadang-kadang salah satu langkah atau lebih mempunyai kecepatan yang relatif lebih cepat dibanding yang lainnya, sehingga pengaruhnya terhadap kecepatan adsorpsi dapat diabaikan. Pengabaian salah satu langkah atau penyederhanaan tersebut dapat ditempuh apabila kesalahan yang ditimbulkan dapat diterima. Kompleksitas penyelesaian persamaan matematis akan jauh berkurang bila dapat dilakukan penyederhanaan. Oleh sebab itu hasil penelitian yang dapat memberikan informasi tentang bisa tidaknya dilakukan penyederhanaan terhadap suatu peristiwa sangat diperlukan. Rahayuningsih dkk. (1995) memberikan nilai batas dalam bentuk kelompok tidak berdimensi $(K_c D/De \rho)$ kapan langkah kecepatan perpindahan massa antar fasa atau langkah difusi dapat diabaikan pengaruhnya. Pada penelitian ini, penentuan langkah kecepatan perpindahan massa dilakukan dengan menyusun dua model matematis. Model matematis yang pertama (Model I) memperhatikan kedua langkah

perpindahan yaitu perpindahan massa antara fasa dan difusi, sedangkan model matematis yang kedua (Model II) hanya memperhatikan langkah perpindahan massa antara fasa saja. Dengan membandingkan hasil yang diperoleh maka dapat ditentukan bisa tidaknya dilakukan penyederhanaan pada peristiwa penjerapan uap air menggunakan butir silikagel.

Untuk menyusun model matematis peristiwa penjerapan uap air pada butir silikagel, laju perpindahan massa uap air dalam butir dipostulatkan dalam bentuk persamaan-persamaan berikut:

$$n_A = k_c (Y_A - Y_A^*) \quad (1)$$

$$n_A = -De \frac{dX_A}{d(\text{jarak})} \quad (2)$$

dengan Y_A^* adalah konsentrasi A dalam fasa gas yang dalam keadaan keseimbangan dengan A di padatan yang dapat dinyatakan dengan korelasi berikut:

$$Y_A^* = HX_A \quad (3)$$

Untuk menyusun Model I dan Model II diambil anggapan sebagai berikut :

1. Ukuran butiran silikagel seragam dan tetap.
2. Tebal tumpukan dibuat cukup tipis sehingga dapat dianggap konsentrasi udara lembab sebelum melewati tumpukan dan sesudah melewati tumpukan sama.
3. Proses isothermal.
4. Perpindahan massa dari gas dalam pori ke permukaan pori dan reaksi di permukaan adsorben didalam pori berlangsung sangat cepat jika dibandingkan kecepatan langkah lainnya sehingga dapat diabaikan (tidak mempengaruhi laju proses secara keseluruhan).

*) Ir. Edia Rahayuningsih, MS., Dosen Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UGM.

**) Effendi, Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UGM.

Model matematis yang pertama (model I)

Model I memperhatikan langkah kecepatan antar fasa dan difusi dalam butir. Berdasarkan neraca massa air dalam butir silikagel dapat disusun persamaan diferensial berikut :

$$\frac{\partial^2 X_A}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial X_A}{\partial r} = \frac{1}{De} \frac{\partial X_A}{\partial t} \quad (4)$$

Kondisi batas yang dapat disusun pada permasalahan ini adalah:

1. Sebelum percobaan butiran silikagel diaktifkan dalam pengering sampai bebas air, sehingga dapat ditulis pada $t = 0$, $r = r$, $X_A = 0$.
2. Pada permukaan luar butir silikagel, terjadi perpindahan massa antar fasa dari gas bulk ke permukaan silikagel dengan kecepatan perpindahan massa $= Kc A (Y_A - Y_A^*)$ sehingga kondisi batasnya dapat didekati dengan cara menyusun neraca massa pada elemen volume setebal $\frac{\Delta r}{r}$, dan dapat diperoleh persamaan berikut :

$$Kc 4\pi R^2 (Y_A - Y_A^*) - \left[De 4\pi \left(R - \frac{\Delta r}{2} \right) \right] \frac{\partial X_A}{\partial r} = 4\pi \left(R - \frac{\Delta r}{4} \right) \frac{\Delta r}{2} \frac{\partial X_A}{\partial t} \quad (5)$$

3. Di pusat butir silikagel kondisi batasnya dapat didekati dengan cara menyusun neraca massa pada elemen volume setebal $\Delta r/2$, dan dapat diperoleh persamaan diferensial berikut:

$$De \frac{\partial X_A}{\partial r} \bigg|_{r = \frac{\Delta r}{2}} = \frac{\Delta r}{6} \frac{\partial X_A}{\partial t} \quad (6)$$

Persamaan diferensial (4), (5), dan (6) diselesaikan dengan cara beda hingga cara Crank-Nicholson (Burden, 1985). Hasil yang didapatkan adalah distribusi kadar air dalam butir fungsi posisi dan waktu.

Jumlah air yang sudah terjerap pada butiran silikagel setelah waktu t dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$N_b \int_0^R (X_A 4\pi r^2) dr \quad (7)$$

Dengan membandingkan kadar air dalam butir silikagel hasil simulasi dan hasil percobaan maka dapat ditentukan nilai Kc dan De . Nilai Kc dan De yang memenuhi sistem yang ditinjau, apabila jumlah kuadrat selisih antara jumlah air yang terjerap dalam silikagel hasil simulasi dan hasil percobaan paling kecil. Minimasi dijalankan dengan cara Hooke-Jeeves (Rudd, 1968).

Model matematis kedua (Model II)

Model II menganggap langkah difusi dalam butir lebih cepat dari langkah perpindahan massa antar fasa, dengan anggapan ini persamaan matematis yang

tersusun jauh lebih sederhana sehingga mudah diselesaikan. Penyederhanaan ini memungkinkan dapat diambil karena butir silikagel sangat berpori dan ukuran butirnya cukup kecil. Untuk membuktikan dapat tidaknya penyederhanaan ini dilakukan yaitu dengan membandingkan hasil perhitungan antara model I dan Model II. Hasil perhitungan yang dapat dibandingkan antara lain nilai Kc , nilai X_A fungsi waktu hasil simulasi, dan ralat rerata antara X_A fungsi waktu hasil simulasi dan percobaan.

Berdasarkan neraca massa uap air dalam butir silikagel dapat disusun persamaan diferensial untuk Model II sebagai berikut:

$$\frac{dX_A}{dt} = \frac{3Kc}{R} (Y_A - HX_A) \quad (8)$$

bila diintegrasikan diperoleh persamaan,

$$\int_{X_{AO}}^{X_A} \frac{dX_A}{Y_A - HX_A} = \int_0^t \frac{3Kc}{R} dt \quad (9)$$

Persamaan (9) bila diselesaikan diperoleh persamaan yang menyatakan hubungan antara kadar air dalam butir dan waktu sebagai berikut:

$$X_A = \frac{1}{H} \left[Y_A - (Y_A - HX_{AO}) \exp \left(-\frac{3KcH}{R} t \right) \right] \quad (10)$$

Nilai Kc yang memenuhi sistem yang ditinjau, apabila jumlah kuadrat selisih antara jumlah air yang terjerap dalam silikagel hasil simulasi dan hasil percobaan paling kecil. Minimasi dilakukan dengan cara Golden Section (Rudd, 1968).

Nilai Kc sangat dipengaruhi oleh peubah disekitarnya. Hubungan antara nilai Kc dengan peubah yang mempengaruhi dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\left[\frac{Kc d_p}{\rho D_G} \right] = K \left[\frac{\mu}{\rho D_G} \right]^{C_1} \left[\frac{F_{RE} \rho v d_p}{\mu} \right]^{C_2} \left[\frac{d_p}{d_t} \right]^{C_3} \quad (11)$$

Jika bahan yang digunakan tidak diubah maka bilangan Schmidt tetap, sehingga persamaan (11) dapat ditulis menjadi:

$$\left[\frac{Kc d_p}{\rho D_G} \right] = K' \left[\frac{F_{RE} \rho v d_p}{\mu} \right]^{C_2} \left[\frac{d_p}{d_t} \right]^{C_3} \quad (12)$$

Nilai K' , C_2 , dan C_3 dalam persamaan (12) ditentukan berdasarkan data percobaan laboratorium.

METODE PENELITIAN

Bahan

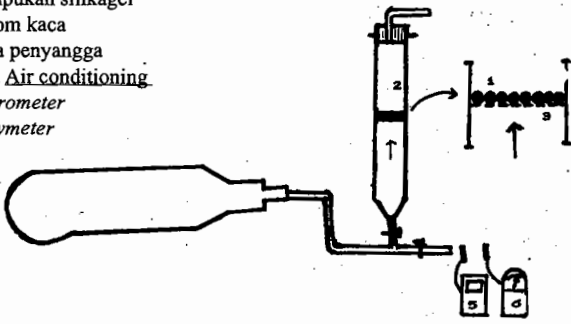
Sebagai adsorben, silikagel merupakan butiran berbentuk bola dengan berbagai diameter (0,1923 cm; 0,2210 cm; 0,2580 cm; 0,2580 cm; 0,3103 cm; 0,3510 cm; 0,4150 cm) mempunyai berat jenis bahan kering sebesar 2,23 g/cm³.

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini terlukis pada Gambar 1:

Keterangan gambar

1. Tumpukan silikagel
2. Kolom kaca
3. Kasa penyangga
4. Unit Air conditioning
5. Hygrometer
6. Flowmeter



Gambar 1. Skema susunan alat percobaan

Jalan penelitian

Percobaan dimulai dengan menghitung butir silikagel yang mempunyai diameter tertentu (0,1923 cm), kemudian diaktifkan dalam pengering sampai bebas air. Hal ini ditandai sampai warna silikagel biru tua. Silikagel yang telah bebas air (aktif) ditimbang untuk mengetahui berat silikagel sebelum penjerapan. Silikagel ditata agar membentuk satu lapisan (tidak tumpang tindih) dalam kasa penyangga, kemudian dimasukkan ke dalam kolom kaca pada posisi tertentu. Udara dengan kelembaban, suhu, dan kecepatan tertentu yang berasal dari unit *air conditioning* dialirkan melalui lapisan butir silikagel tersebut. Setelah waktu tertentu percobaan dihentikan. Kemudian silikagel dikeluarkan dari kolom dan ditimbang. Dengan demikian selisih berat antara sesudah dan sebelum percobaan dapat diketahui (hal ini menyatakan kandungan air dalam silikagel). Kecepatan udara diukur dengan *flow meter*, sedangkan prosen kelembaban udara dan suhu udara diukur dengan *hygrometer*. Percobaan diulangi untuk diameter butir yang sama tetapi waktu penjerapannya berbeda, sehingga diperoleh data yang menyatakan hubungan jumlah uap air yang terjerap dalam butir silikagel fungsi waktu untuk kecepatan aliran udara lembab dan diameter butir yang tertentu. Percobaan ini dilakukan dengan cara yang sama untuk ukuran butir silikagel dan kecepatan aliran udara yang berbeda.

Analisis hasil

Kandungan air pada silikagel fungsi waktu diukur secara gravimetri. Nilai K_c dan De pada Model I dan nilai K_c pada Model II yang memenuhi sistem yang ditinjau, apabila jumlah kuadrat selisih antara jumlah air yang terjerap dalam silikagel hasil simulasi dan hasil percobaan paling kecil. Minimasi dijalankan dengan cara Hooke-Jeeves untuk Model I dan cara Golden Section untuk Model II.

Persamaan yang menyatakan hubungan antara nilai K_c dengan peubah yang mempengaruhi ditentukan dengan cara memvariasikan bilangan Reynolds dan bilangan (d_p/d_t) . Evaluasi terhadap tetapan

persamaannya dilakukan dengan cara regresi multidimensi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

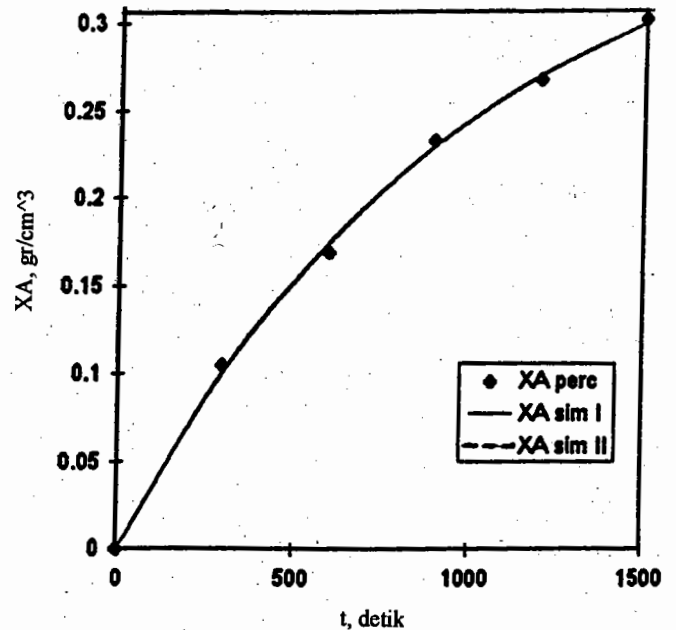
Hubungan keseimbangan antara kadar air dalam butir silikagel dan dalam udara yang mengalir dapat dilihat dalam Daftar I. Data keseimbangan ini jika digambarkan merupakan garis lurus dan dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$Y_A = 0,057 X_A \quad (13)$$

dengan ralat rerata sebesar 3,38%. Nilai tetapan keseimbangan dipengaruhi oleh suhu. Menurut Brown (1978) pada suhu 87,8 °F, 92 °F, dan 95 °F besarnya masing-masing adalah 0,055 ; 0,064 ; dan 0,0688. Rahayuningsih dkk. (1995) pada penelitiannya mendapatkan tetapan keseimbangan antara kadar uap air dalam butir silikagel dan di udara pada suhu kamar sebesar 0,052 .

Daftar I. Hubungan keseimbangan antara kadar air dalam butir silikagel dan di udara

| No. | $Y_A \frac{\text{g air}}{\text{g udara kering}}$ | $X_A \frac{\text{g air}}{\text{cm}^3 \text{ butiran}}$ |
|-----|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1. | 0 | 0 |
| 2. | 0,021 | 0,383 |
| 3. | 0,022 | 0,395 |
| 4. | 0,023 | 0,401 |
| 5. | 0,024 | 0,398 |



Gambar 2. Hubungan antara kadar air dalam butir silikagel fungsi waktu hasil percobaan dan hasil simulasi, dengan menggunakan dua model matematis.

$$(d_p = 0,3103 \text{ cm}) ; Y_A = 0,022 \frac{\text{g uap air}}{\text{g ud. kering}} \\ v = 0,3412 \text{ m/detik}$$

Daftar II. Hasil perhitungan nilai Kc, De, dan ralat rerata menggunakan Model I dan Model II pada berbagai kecepatan aliran udara untuk $d_p = 0,2580$ cm.

| No. | v m/detik | Model I | | | Model II | |
|-----|--------------|-------------|-------------|---------|-------------|---------|
| | | Kc | De | Ralat % | Kc | Ralat % |
| 1 | 0,3412 | 1,084635E-3 | 7,901397E-3 | 10,1484 | 1,084635E-3 | 9,8146 |
| 2 | 0,4606 | 1,320067E-3 | 7,901397E-3 | 8,5867 | 1,347295E-3 | 8,8465 |
| 3 | 0,5971 | 1,546299E-3 | 7,901397E-3 | 6,9047 | 1,647144E-3 | 8,1473 |
| 4 | 0,7507 | 1,875310E-3 | 7,901397E-3 | 9,1324 | 1,939837E-3 | 9,9088 |
| 5 | 0,8530 | 2,250706E-3 | 7,901397E-3 | 11,2855 | 2,301800E-3 | 11,8124 |
| 6 | 1,0577 | 2,290081E-3 | 7,901397E-3 | 14,1659 | 2,341175E-3 | 14,6613 |

Berdasarkan data pada Daftar II, III, dan Gambar 2 dapat disimpulkan bahwa kedua model cara perhitungan dapat digunakan untuk menyatakan peristiwa penjerapan uap air dengan butir silikagel atau Model II yang mengabaikan langkah difusi dalam butir dapat memberikan hasil yang sama dengan bila langkah difusi diperhitungkan.

Daftar III : Hasil perhitungan nilai Kc, De, dan ralat rerata dengan Model I dan Model II pada berbagai diameter butir untuk $v = 0,3412$ m/detik

| No. | v m/detik | Model I | | | Model II | |
|-----|--------------|-------------|-------------|---------|-------------|---------|
| | | Kc | De | Ralat % | Kc | Ralat % |
| 1 | 0,1923 | 1,182133E-3 | 7,949851E-3 | 9,1247 | 1,219432E-3 | 10,3001 |
| 2 | 0,2210 | 1,119475E-3 | 7,810150E-3 | 7,2061 | 1,146703E-3 | 7,5537 |
| 3 | 0,2580 | 1,084635E-3 | 7,901397E-3 | 10,1484 | 1,084635E-3 | 9,8146 |
| 4 | 0,3103 | 9,091144E-4 | 7,789145E-3 | 2,0570 | 9,091144E-4 | 2,1472 |
| 5 | 0,3510 | 6,783903E-4 | 7,778324E-3 | 4,1142 | 6,783903E-4 | 4,0868 |
| 6 | 0,4150 | 6,373858E-4 | 7,883620E-3 | 3,0102 | 6,373858E-4 | 2,8362 |

Berdasarkan data yang tertulis dalam Daftar II dan III Model I dapat digunakan untuk menentukan nilai De. Jadi bila diperlukan data nilai De sebaiknya digunakan Model I. Nilai De suatu bahan yang sama tetap atau tidak dipengaruhi oleh ukuran butir maupun kecepatan aliran. Nilai De yang disajikan dalam Daftar II dan III bervariasi pada suatu kisaran nilai yang tidak besar, hal ini diduga karena ketidak telitian perhitungan pada simulasi matematis atau alat ukur yang digunakan pada pelaksanaan percobaan. Berdasarkan hal itu maka nilai De uap air dalam butir silikagel sama dengan nilai De rerata dari nilai-nilai De yang didapatkan. Untuk membuktikan pernyataan ini dilakukan perhitungan ulang terhadap nilai Kc dan nilai X_A dengan menggunakan nilai De rerata. Hasil perhitungan yang diperoleh disajikan dalam Daftar IV dan Daftar V. Berdasarkan hasil perhitungan yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa nilai De uap air dalam silikagel sama dengan De rerata = $7,88 \cdot 10^{-3}$ cm²/detik.

Rahayuningsih dkk. (1995) pada pengukuran sebelumnya mendapatkan nilai De uap air dalam butir silikagel sebesar $1,385 \cdot 10^{-4}$ cm²/det. Hal ini mungkin terjadi karena butir silikagel yang digunakan diperoleh

pada waktu dan tempat yang berbeda. Berdasarkan hal ini dapat disimpulkan bahwa nilai De suatu bahan sangat dipengaruhi oleh sifat fisis bahan, sehingga untuk mendapatkan nilai De yang tepat diperlukan pengukuran terhadap bahan tersebut.

Daftar IV. Perbandingan nilai Kc hasil Model I dengan Kc terkoreksi jika digunakan nilai De rerata, pada berbagai kecepatan aliran udara ($d_p = 0,258$ cm).

| No. | Kecepatan aliran udara, m/det. | Kc hasil Model I g/cm ² /det. | Kc terkoreksi g/cm ² /det. |
|-----|--------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 0,3412 | 1,084635E-3 | 1,059364E-3 |
| 2 | 0,4606 | 1,320067E-3 | 1,292801E-3 |
| 3 | 0,5971 | 1,546299E-3 | 1,584656E-3 |
| 4 | 0,7507 | 1,875310E-3 | 1,858814E-3 |
| 5 | 0,8530 | 2,250706E-3 | 2,241593E-3 |
| 6 | 1,0577 | 2,290081E-3 | 2,284657E-3 |

Daftar V. Perbandingan nilai Kc hasil Model I dengan Kc terkoreksi jika digunakan nilai De rerata, pada berbagai diameter butir silikagel ($v = 0,341$ m/detik).

| No. | Diameter butir silikagel, cm | Kc hasil Model I g/cm ² /det. | Kc terkoreksi g/cm ² /det. |
|-----|------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 0,1923 | 1,182133E-3 | 1,198126E-3 |
| 2 | 0,2210 | 1,119475E-3 | 1,076393E-3 |
| 3 | 0,2580 | 1,084635E-3 | 1,059364E-3 |
| 4 | 0,3103 | 9,091144E-4 | 8,985303E-4 |
| 5 | 0,3510 | 6,783903E-4 | 6,686918E-4 |
| 6 | 0,4150 | 6,373858E-4 | 6,283666E-4 |

Dengan memvariasikan kecepatan aliran udara lembab dan diameter butir silikagel maka dapat ditentukan hubungan antara nilai Kc dengan peubah-peubah yang mempengaruhinya. Berdasarkan hasil simulasi matematis dan percobaan laboratorium yang dilakukan, hasil yang diperoleh disajikan pada Daftar VI. Dengan menggunakan metode Regresi Multidimensi dapat ditentukan tetapan persamaannya. Bila dituliskan secara lengkap persamaannya, adalah sebagai berikut :

$$\left(\frac{Kc d_p}{\rho D_G} \right) = 2,55 \cdot 10^{-4} \left(\frac{\rho F_{RE} v d_p}{\mu} \right)^{0,8} \left(\frac{d_p}{d_t} \right)^{-0,65}$$

atau

$$Sh = 2,55 \cdot 10^{-4} (Re)^{0,8} (d_p/d_t)^{-0,65} \quad (14)$$

dengan ralat rerata sebesar 5,75%.

Menurut Geankoplis (1983), hubungan antara koefisien perpindahan massa antar fasa gas-butir padatan berbentuk bola dengan peubah yang mempengaruhi dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\left[\frac{Kc d_p}{D_G} \right] = 2 + 0,552 \left[\frac{\mu}{\rho D_G} \right]^{1/3} \left[\frac{\rho v d_p}{\mu} \right]^{0,53} \quad (15)$$

untuk kisaran bilangan Schmidt antara 0,67 sampai 2,7 dan kisaran bilangan Reynolds antara 1 sampai 48000.

Daftar VI. Hubungan antara bilangan Sherwood dengan bilangan Reynolds termodifikasi dan bilangan (d_p/d_t)

| No. | Rem | $\left[\frac{d_p}{d_t}\right]$ | Sh data percobaan | Sh hasil hitungan | Ralat % |
|-----|---------|--------------------------------|-------------------|-------------------|---------|
| 1 | 2696,66 | 0,0561 | 0,9368 | 0,8664 | 7,5156 |
| 2 | 3640,49 | 0,0561 | 1,1401 | 1,0991 | 3,6012 |
| 3 | 4719,16 | 0,0561 | 1,3355 | 1,3501 | 1,0915 |
| 4 | 5932,65 | 0,0561 | 1,6197 | 1,6186 | 0,0651 |
| 5 | 6741,65 | 0,0561 | 1,9439 | 1,7913 | 7,8533 |
| 6 | 8359,65 | 0,0561 | 1,9779 | 2,1243 | 7,3998 |
| 7 | 2038,96 | 0,0418 | 0,7610 | 0,8400 | 10,3767 |
| 8 | 2319,46 | 0,0480 | 0,8282 | 0,8501 | 2,6360 |
| 9 | 2696,66 | 0,0561 | 0,9368 | 0,8664 | 7,5156 |
| 10 | 3209,87 | 0,0675 | 0,9444 | 0,8824 | 6,5567 |
| 11 | 3608,20 | 0,0763 | 0,7971 | 0,8938 | 12,1274 |
| 12 | 4203,50 | 0,0902 | 0,8855 | 0,9049 | 2,1960 |

KESIMPULAN

1. Pada keadaan keseimbangan, hubungan kadar air dalam udara dan dalam butir silikagel dinyatakan dengan persamaan $Y_A^* = 0,057 X_A$.
2. Model I dan Model II tidak memberikan beda nyata terhadap ralat relatif rerata antara kadar air dalam butir silikagel fungsi waktu hasil percobaan dan hasil simulasi matematis.
3. Berdasarkan kesimpulan 2 dapat dinyatakan bahwa peristiwa penjerapan uap air menggunakan silikagel pada dimensi ukuran butir antara 0,19cm sampai 0,41cm ini langkah kecepatan perpindahan massa antar fasa yang menentukan.
4. Bila diperlukan informasi nilai De uap air dalam butir silikagel dapat digunakan Model I untuk menentukannya.
5. Nilai De uap air dalam butir silikagel yang didapatkan pada penelitian ini sebesar $7,87 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{detik}$.
6. Hubungan antara nilai kc dengan peubah-peubah yang mempengaruhi dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan tidak berdimensi

$$Sh = 2,55 \cdot 10^{-4} (Re)^{0,8} (d_p/d_t)^{-0,65}$$

dengan ralat rerata sebesar 5,75%. Persamaan ini berlaku untuk kisaran bilangan Reynolds termodifikasi dari 2040 sampai 8350 dan kisaran bilangan $\frac{d_p}{d_t}$ dari 0,0418 sampai 0,0902.

7. Dua model matematis yang diajukan dapat digunakan untuk menyatakan peristiwa penjerapan dengan jenis adsorbat maupun adsorben yang lain.

TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Pusat Antar Universitas Ilmu-Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada atas diperkenankannya menggunakan berbagai alat yang mendukung berlangsungnya penelitian.

DAFTAR LAMBANG

- De Difusivitas efektif, cm^2/detik
 DG Difusivitas molekuler uap air dalam udara, cm^2/detik
 d_p Diameter butir silikagel, cm
 d_t Diameter tabung, cm
 F_{RE} Faktor bilangan Reynolds
 H Konstanta Henry, cm^3/g udara kering
 Nb Jumlah butir silikagel
 N_A Kecepatan adsorpsi uap air ke dalam silikagel, g uap air/ cm^2/det .
 r Posisi terhadap titik pusat butiran, cm
 R Jari-jari silikagel, cm
 Re Bilangan Reynolds termodifikasi ($\frac{\rho F_{RE} v d_p}{\mu}$)
 Sc Bilangan Schmidt ($\frac{\mu}{\rho D_G}$)
 Sh Bilangan Sherwood ($\frac{K_c d_p}{\rho D_G}$)
 t Waktu penjerapan, det.
 v Kecepatan supervisial aliran udara, m/det.
 X_A Kadar uap air dalam butir silikagel, g uap air/cm
 X_{AO} Kadar uap air dalam butir silikagel mula-mula, g uap air/ cm^3 .
 Y_A Kadar uap air dalam udara, g uap air/g udara kering
 Y_A^* Kadar uap air pada permukaan butir pada keadaan kestimbangan, g uap air/g udara kering
 ρ Massa jenis udara, g/ cm^3
 μ Viskositas udara, g/ cm/det .

DAFTAR PUSTAKA

- Brown, G.G., Foust, A.S., and Katzs, D., 1950, "Unit Operation", 6th ed., pp. 398, John Wiley and Sons Inc., New York.
 Geankoplis, C.J., 1983, "Transport Processes and Unit Operations", pp.432-438, 2 Ed., Allyn and Bacon, Inc., Boston.
 Mantel, C.L., 1951, "Adsorption", 2nd ed, pp. 173-184, Mc Graw Hill Book Company, Inc., New York.
 Perry, R.H. and Chilton, C.H., 1974, "Chemical Engineers' Handbook", 5 ed., pp. 16-5 - 16-21, McGraw-Hill Kogakusha Ltd., Tokyo.
 Rahayuningsih, E., 1991, "Koefisien Perpindahan Massa Volumetrik antara Tumpukan Silikagel dan Udara Basah yang Mengalir di antaranya", Laporan Penelitian DPP-SPP, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
 Rahayuningsih, E., Sediawan, W.B. dan Yulastuti, A., 1995, "Difusivitas Efektif Uap Air Dalam Butir Silika Gel dan Koefisien Perpindahan Massa Uap Air Antar Fasa Udara Permukaan Butir", Media Teknik Nomer 1 Tahun XVII, Yogyakarta, hal. 72-78.
 Rudd, D.F. and Watson, C.C., 1968, "Strategy of Process Engineering", pp. 162-163, John Wiley and Sons Inc., New York.